

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Tietoliikennetekniikan suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö

Jarkko Niittylahti

**LANGATON MOOTTORINOHJAUSJÄRJESTELMÄ ZIGBEE-VERKOSSA**

Työn teettäjä: TAMK, Ari Rantala  
Tampere 2009

Tekijä:	Jarkko Niittylahti
Työn nimi:	Langaton moottorinohjausjärjestelmä ZigBee-verkossa
Päivämäärä:	3.12. 2009
Työn laajuus:	31 sivua
Avainsanat:	ZigBee, langaton moottorinohjaus
Koulutusohjelma:	Tietotekniikka
Suuntautuminen:	Tietoliikennetekniikka

## TIIVISTELMÄ

Meshworks Wireless Oy:ltä saadun tehtävänannon tarkoituksena oli ohjata sähkömoottoria langattomasti ZigBee-sensoriverkossa (IEEE 802.15.4). Työ tuli toteuttaa käyttämällä Texas Instrumentsin CC2520DK-kehityssarjaa. Texas Instrumentsin kehityssarjan välityksellä tuli kontrolloida sähkömoottoria. Sähkömoottorin ohjaus toteutettiin taajuusmuuttajan välityksellä. Texas Instrumentsin koordinaattorikortilla ohjattiin mikrokontrollerikorttia, joka huolehti taajuusmuuttajan ohjauksesta. Texas Instrumentsin koordinaattorikortti ohjelmoitiin C++-kielellä. Lisäksi työhön kuului ZigBee-standardiin tutustuminen. Texas Instrumentsin koordinaattorikortit saatiin kommunikoidaan keskenään, kuten toivottiin. Projektin aikana tutustuttiin pintapuolisesti myös Jennicin valmistamaan kehityssarjaan. Myös Jennicin kehityssarjan yhteensopivuutta Texas Instrumentsin kehityssarjan kanssa tuli tutkia. Projekti toteutettiin ryhmätyönä Tampereen ammattikorkeakoulun tiloissa vuoden 2009 kevätlukukauden aikana.

Author: Jarkko Niittylahti  
Title: Wireless motor control on ZigBee network  
Date: 3.12. 2009  
Number of pages: 31 pages  
Keywords: ZigBee, wireless motor control  
Degree programme: Information technology  
Specialisation: Telecommunications technology

## **ABSTRACT**

Assignment received from Meshworks Wireless Oy was to control electric motors wirelessly on ZigBee sensor network. The work was carried out by using Texas Instruments development kit. The idea was to control electric motor through Texas Instrument development kit. Controlling electric motor was executed through frequency changer. Texas Instruments coordinator card were used to monitor micro controller which takes care of controlling frequency changer. Programming of Texas Instruments platform was executed on C++- language. In addition familiarizing with ZigBee standard included in the study. Texas Instrument coordinator cards were able to communicate with each other as expected. During the project also development kit made by Jennic was familiarized on the face of it. In additional compatibility between Texas Instrument and Jennic development kits were to be examined. The project was carried out as teamwork at school premises during the 2009 spring semester.

Tietotekniikka, Tietoliikennetekniikka

Jarkko Niittylahti

## ALKUSANAT

Työni on tehty Tampereen ammattikorkeakoulun tietoliikennetekniikan suuntautumisvaihtoehdon opinnäytetyönä.

Kiitän projektin työryhmässä mukana olleita opiskelijoita sekä työssä avustaneita opettajia. Suuri kiitos myös ABB:lle taajuusmuuttajan lahjoituksesta projektin käyttöön.

Tampereella 2009

---

Jarkko Niittylahti

**SISÄLLYS**

KÄYTETYT MERKINNÄT .....	3
1 JOHDANTO .....	4
2 ZIGBEE .....	5
2.1 ZigBee-standardi .....	7
2.2 Tekniikka.....	7
2.3 Verkon rakenne .....	8
2.4 Verkon salaus .....	11
3 TEXAS INSTRUMENTSIN KEHITYSSARJA .....	12
4 SÄHKÖMOOTTORI JA TAAJUUSMUUTTAJA .....	16
4.1 Taajuusmuuttaja .....	17
4.2 Sähkömoottorin kytkentä taajuusmuuttajaan .....	19
5 OHJAUKSEN TOTEUTUS .....	20
5.1 Ohjelmointi.....	21
5.2 Digitaalitulot.....	22
5.3 RS-485-sarjaväylä .....	26
6 YHTEENVETO .....	27
LÄHTEET.....	28
LIITTEET .....	30

**KÄYTETYT MERKINNÄT**

WPAN	Wireless Personal Area Network, Langaton likiverkko
CDMA	Code Division Multiple Access, koodijakokanavointiin perustuva kanavanvaraustekniikka.
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum, suorasekventointi
WiFi	Wi-Fi Alliance, tavaramerkki joka määrää tuotteiden laatutasosta.
PAN	Personal Area Networks, henkilökohtainen tiedonsiirtoverkko
P2P	Peer to Peer, vertaisverkko, jossa jokainen taho on sekä palvelin että asiakas.
MAC	Media Access Control, verkon varaamisesta ja liikennöinnistä vastaava osajärjestelmä.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE 802-verkon liikennöinnistä vastaava järjestelmä.
WLAN	Wireless Local Area Network , langaton lähiverkko
ISM	Industrial, Scientific and Medical, maailmanlaajuinen vapaa radiotaajuuskaista
USB	Universal Serial Bus, sarjaväylä laitteiden liittämiseksi tietokoneeseen
AES	Advanced Encryption Standard, toistaiseksi murtamaton lohkosalausmenetelmä
EMC	Electromagnetic Compatibility, laitteiden sähkömagneettinen yhteensopivuus

## 1 JOHDANTO

Projektia aloittaessa tiedot ZigBee-verkosta ja siihen liittyvistä standardeista olivat vähäiset, aihepiiri kuitenkin vaikutti mielenkiintoiselta. Myös ohjelmointiarkkitehtuuriin tutustuminen työn myötä oli hyödyllistä.

Projektin alussa projektilla oli käytössä sekä Texas Instrumentsin että Jennicin korttisarja ZigBee-sensoriverkon toteutukseen. Työssä keskitytään kuitenkin lähinnä Texas Instrumentsin (myöhemmin TI) valmistamien laitteiden käsittelyyn, sillä lopullinen työ toteutettiin TI:n kehitysalustalla.

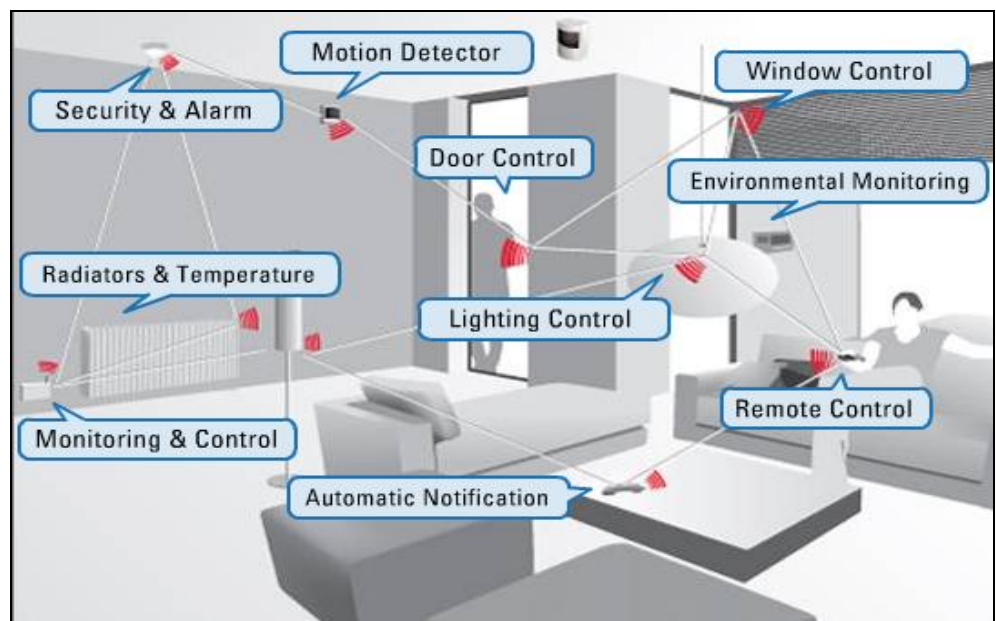
Työssä keskitytään pääasiassa tietoliikennettä koskeviin seikkoihin, mutta myös ohjelmointitekniikkaan keskitytään tietyissä kappeleissa. Aluksi työssä käsitellään ZigBee-verkkoa ja sen käyttösovelluksia yleisesti, jonka jälkeen siirrytään selvittämään projektin eri työvaiheita. Työvaiheisiin kuuluivat muun muassa TI:n kehityssarjaan tutustuminen, sähkömoottorin ohjauksen toteutus ja TI:n lähetin- ja vastaanotinkorttien ohjelmointi.

ZigBee-standardiin ja verkkoarkkitehtuuriin tutustutaan melko pintapuolisesti, sillä niitä on käsitelty jo useissa opinnäytetöissä tarkemmin.

## 2 ZIGBEE

ZigBee-sensoriverkkoa voidaan käyttää erilaisissa sovelluksissa sen pienen virrankulutuksen ansiosta. Päätelaitte saadaan toimimaan yhdellä paristolla usean vuoden ajan. Tämä johtuu siitä, että päätelaitteen tulee reagoida ainoastaan silloin, kun siihen otetaan yhteys. Päätelaitteet poistuvat lepotilasta tarkkailemaan liikennettä ainoastaan koordinaattoriin määräämänä aikana. Liikenteen tarkkailu voi myös olla satunnaista, jolloin päätelaitteet ilmoittavat itsestään koordinaattorille satunnaisesti. /17/ Muulloin päätelaite voi olla hyvin vähän virtaa kuluttavassa lepotilassa. ZigBee-verkolla saadaan katettua muutaman sadan metrin laajuinen alue, mikä on riittävä etäisyys tukiasemasta useimmissa rakennuksissa.

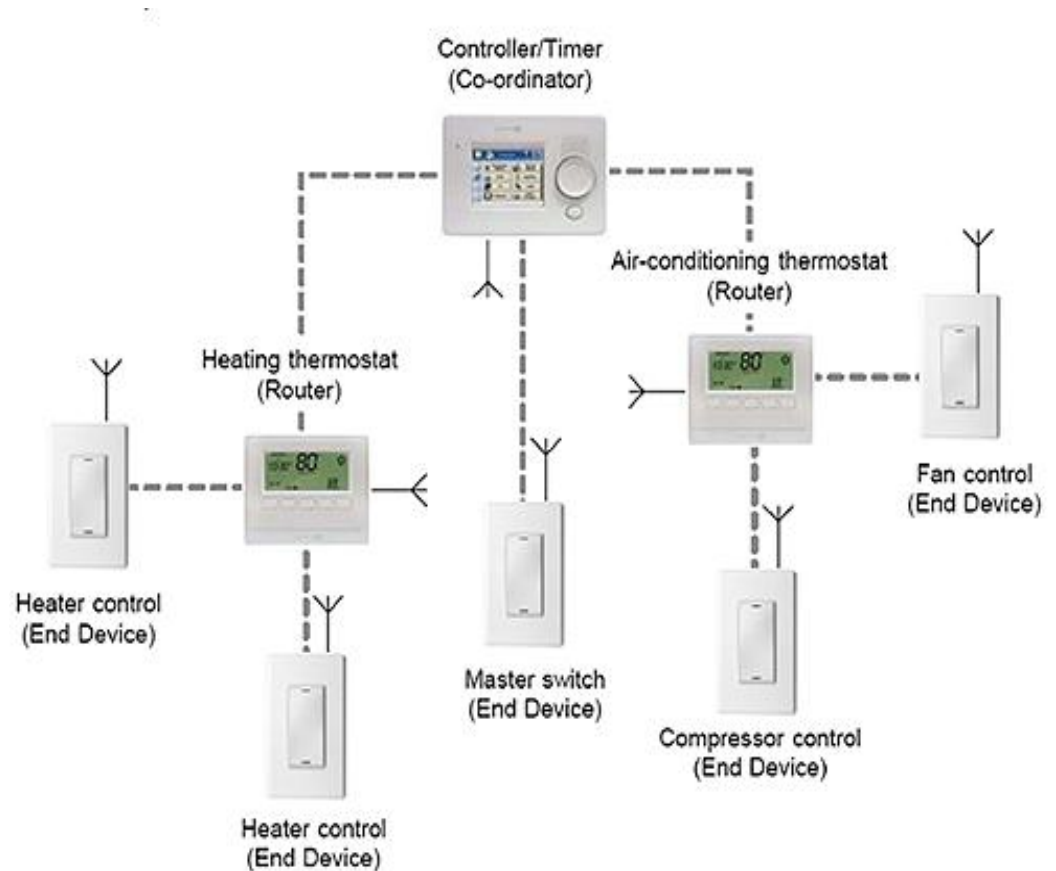
ZigBee-verkkoon suunniteltu koordinaattorikortti voidaan asettaa haluttuun paikkaan huoneistossa tai yrityksessä. Koordinaattorilla puolestaan voidaan kontrolloida ympäri huoneistoa olevia päätelaitteita kuvan 1 tapaan.



Kuva 1. ZigBee-verkon käyttömahdollisuudet /5/



ZigBee-verkon kaikkia komponentteja voidaan siis ohjata ja valvoa saman ohjauspaneelin kautta. Samalla laitteella voidaan esimerkiksi hoitaa ilmastointi, kulunvalvonta ja valaistus. Erilaisia ratkaisuita tämän toteuttamiseen on luonnollisesti yhtä monta kuin valmistajia. Kuvasta 2 selviää yleinen verkkototeutus, jolla pystytään ohjaamaan huoneiston ilmastointia koordinaattorin ja muutamien sensorien avulla.



Kuva 2. Yksinkertainen ZigBee-verkko /7/

Yritysten kannalta langattoman tiedonsiirron luotettavuus ja informaation salaaminen ovat oleellisia asioita. ZigBee tarjoaa ratkaisut myös näihin seikkoihin. Tieto pystytään salaamaan helposti, ja toimintasäteen sisällä tiedonsiirto on luotettavaa. ZigBeellä saavutetaan myös erittäin nopea kytkentäaika verrattuna muihin langattomiin ratkaisuihin, kuten bluetoothiin jolla kytkentäaika saattaa olla useita sekunteja.

## 2.1 ZigBee-standardi

ZigBee tarkoittaa IEEE 802.15.4 -standardin mukaista lyhyen kantaman tietoliikenneverkkoa ja kuuluu langattomien likiverkkojen (WPAN) standardiperheeseen. IEEE 802.15.4 -standardi koskee erityisesti vähävirtaisia ja pienikapasiteettisia verkkoja. ZigBee-standardissa määritellään verkon OSI-mallin fyysinen ja siirtoyhteyskerros, eli kaksi alinta kerrosta. OSI-mallin ylemmät kerrokset jätetään kolmannen osapuolen sovelluksien tehtäväksi. /2/

Standardilla saadaan siis varmistettua, että kaikki ZigBee-laitteet toimivat keskenään rajapinnan puolesta. Standardin mukaisten laitteiden tulisi siis toimia yhdessä, vaikka ne olisivat eri valmistajien toteuttamia. Kuitenkin eri valmistajien toteuttamilla laitteilla on edelleen pieniä yhteensopivuusongelmia. Tämä yhteensopivuusongelma ilmeni myös tämän projektin yhteydessä, sillä Jennicin ja TI:n välistä yhteydenpitoa ei saatu toimimaan. ZigBee-standardi huolehtii myös tiedonsiirron turvallisuuteen ja salaukseen liittyvistä seikoista. ZigBee-standardin päivittämisestä ja valvonnasta huolehtii ZigBee-allianssi, johon kuuluu nykyään lähes kaikki suurimmat elektroniikkavalmistajat. Standardi valmistui vuonna 2003.

## 2.2 Tekniikka

ZigBee-anturiverkon taajuutena Suomessa ja Euroopassa käytetään 868 MHz, jolla on käytössä yksi 20 kb/s-nopeuksinen kanava. Yleisimmin käytetty taajuus on maailmanlaajuisesti vapaa ISM 2,4 GHz:n alue, jossa on 16 kanavaa 5 MHz:n välein. Tällöin nopeus saadaan nostettua 250 kb/s saakka. ZigBee-verkot eivät siis yllä samaan tiedonsiirtonopeuteen kuin useimmat muut langattomat ratkaisut. Tiedonsiirtonopeus ei kuitenkaan ole oleellista kaikissa ZigBee-sovelluksissa. Poikkeuksena kuitenkin ovat hyvin laajat automaatio-sovellukset, joissa tarkkailtavia ja ohjattavia sensoreita on tuhansia. Tällöin tiedonsiirtonopeus saattaa aiheuttaa ongelmia, erityisesti jos tietoa tarvitsee lukea useilta sensoreilta samanaikaisesti. /2/

Lisenssivapaan ISM-taajuusalueen käyttö ei vaadi erillistä lupaa, joten samaa taajuusaluetta käyttävät luonnolliset lukuisat tekniikat ja kodinelektroniikan sovellukset. Laitteiden onkin tästä syystä oltava erittäin häiriösietoisia langattoman tiedonsiirron suhteen, koska lähetysteho on ZigBeen tapauksessa melko pieni. 868 MHz:n taajuusalueella lähetysteho on 25 mW ja 2,4 GHz:n alueella 10 mW. ZigBee-verkossa toimivien vastaanottimien onkin oltava tästä syystä erittäin herkkiä. /1/

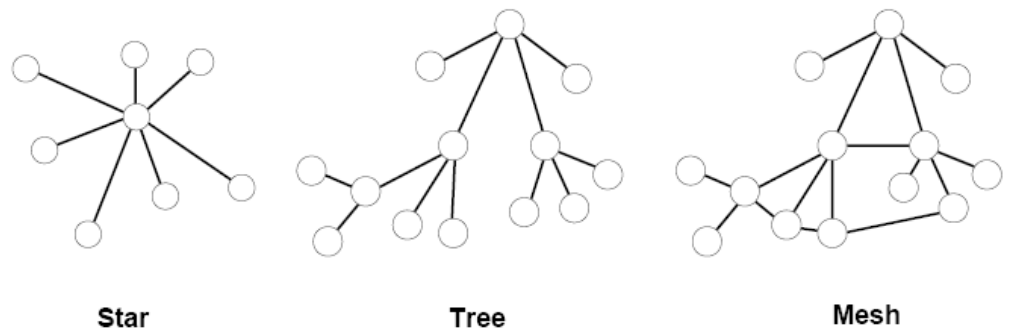
ZigBee-verkon kanavanvaraustekniikka perustuu koodijakokanavointiin (CDMA). Laite siis saa käyttöönsä koko saatavilla olevan taajuuskaistan lähetyksessä ja vastaanotossa. Laitteet erotellaan yksilöllisillä koodeilla. Kanavointimenetelmänä puolestaan käytetään suorasekventointia (DSSS), eli lähetettävä sanoma jaetaan pieniin osiin ja lähetetään koko taajuusalueella yhtenä signaalina. /3/

ZigBee-verkkoja alettiin suunnitella, kun todettiin WiFi:n ja bluetoothin olevan sopimattomia kaikkiin tilanteisiin. Tähän vaikutti muun muassa laitteiden reagointinopeus, virrankulutus ja hinta.

### 2.3 Verkon rakenne

ZigBee-verkko koostuu käytännössä kolmesta laitteesta: koordinaattori, reititin ja päätelaite. Koordinaattorikortti on vastuussa verkon muodostamisesta sekä verkon tietojen säilyttämisestä. Koordinaattoreita on yksi jokaista ZigBee-verkkoa kohden. Nimensä mukaisesti reititin huolehtii datan reitittämisestä sensoriverkossa oleville päätelaitteille tai toisille reitittimille. Verkossa voi olla jopa 250 päätelaitetta. Verkossa voi olla myös enemmän kuin yksi koordinaattori, mutta tämä on harvinaista kustannuksista ja toteutuksen hankaluudesta johtuen. /2/

ZigBee-verkossa käytetään joko tähti-, puu- tai mesh-verkkotopologiaa. Kuvassa 3 on esitetty verkkojen erot.



Kuva 3. Verkkotopologiat /7/

Tähtitopologiassa kaikki laitteet on yhdistetty verkon keskellä sijaitsevaan koordinaattoriin. Päätelaitteiden yhdistyminen koordinaattoriin tapahtuu useimmiten reitittimien kautta.

Puutopologiassa koordinaattori sijaitsee pinon ylimpänä, johon on yhdistetty suoraan reitittimiä tai päätelaitteita. Reitittimien alle voidaan jälleen lisätä tarpeen mukaan joko päätelaite tai seuraava reititin.

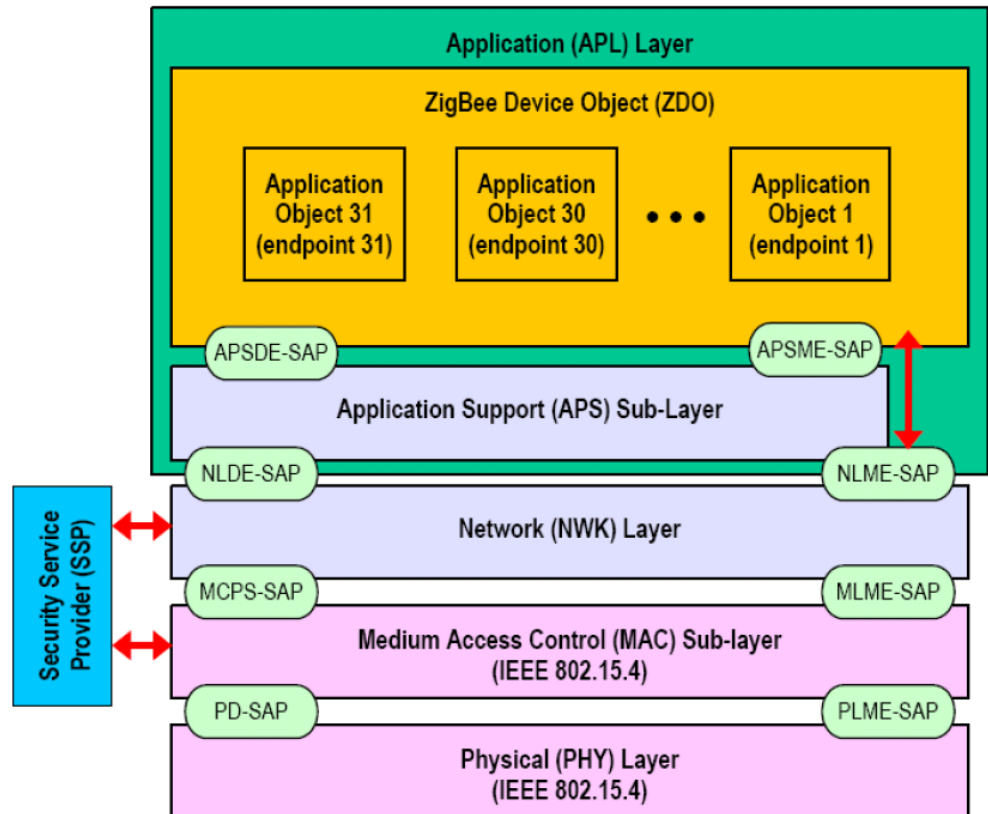
Puuverkko voidaan kytkeä myös tähtiverkon jatkeeksi. Verkko on melko yksikertainen toteuttaa, mutta sen luotettavuus on usein muutaman reitittimen varassa.

Mesh-verkossa liikkuminen ja tukiaseman vaihtaminen on mahdollista ilman yhteyden katkeamista. Verkko siis mahdollistaa paketin kulkemisen useaa eri reittiä pitkin määränpäähensä. Laitteiden yhdistämistä mesh-verkon yli kutsutaan P2P-ratkaisuksi eli vertaisverkoksi. Verkolla saadaan aikaan lisää luotettavuutta ja se mahdollistaa monipuolisempien verkkojen toteutuksen. /13/

P2P-ratkaisua käytettäessä laitteiden on lähetettävä ja vastaanotettava tietoa huomattavasti useammin, kuin perinteisillä verkkotopologioilla. Tällöin laitteiden virrankulutus kasvaa. Tämä puolestaan johtaa laitteiden käyttöajan lyhenemiseen ja lisää paristojen vaihtamisen tarvetta.

Kuvassa 4 on esitetty ZigBee-protokollapino. Kaksi alinta kerrosta (fyysinen ja MAC) on määritelty standardissa IEEE 802.15.4. Ylemmät kerrokset ovat ZigBee-allianssin tekemän spesifikaation mukaisia.

Kuva 4 havainnollistaa ZigBee-protokollapinon kerroksia yhdistävät rajapinnat ohjelmistoarkkitehtuuriin.



Kuva 4. ZigBee-protokollapino /4/

Verkon fyysinen kerros (PHY) huolehtii rajapinnasta MAC-kerroksen ja radiolinkin välillä. Eri palveluihin siirrytään fyysiseltä kerrokselta SAP:ien (Service Access Point) välityksellä. Fyysisen kerroksen hallintaolio (PLME) puolestaan huolehtii rajapinnoista hallintapalveluille. /11/

Fyysisen kerroksen yläpuolella oleva MAC-kerros huolehtii muun muassa turvallisesta liittymisestä ZigBee-anturiverkkoon ja tarjoaa datapalveluita ylemmille kerroksille. /11/

## 2.4 Verkon salaus

IEEE 802.15.4 -standardi tarjoaa kolme erilaista tietoturvasoa verkon suojaamiseen.

### Taso 1.

Ei tarjoa lainkaan tietoturvaa.

### Taso 2.

Tietoturva perustuu pääsylistoihin (ACL).

Tällöin voidaan rajata käyttäjäryhmä ja antaa oikeudet verkon käyttöön vain halutuille tahoille.

### Taso 3.

Toteutettu käyttämällä symmetristä AES-algoritmi salausta. AES-algoritmi on nopea ja yleiskäyttöinen lohkosalausmenetelmä, jonka toiminta perustuu kierrosavaimien luomiseen ja kierrosfunktioihin. /12/

ZigBeetä käytettäessä on siis useita vaihtoehtoja tietoturvan toteutukseen, mikä mahdollistaa sovellusten toteuttamisen kaikkiin tarpeisiin. Mikäli suojaus ei ole tarpeen pystytään käyttämään mahdollisimman yksinkertaista ykköstasoa. Puolestaan yritysten salaista tietoa sisältävissä verkoissa saadaan käyttöön luotettava kolmostason salaus. Salaus on mahdollista jättää ZigBee-moduulien huolehdittavaksi.

### 3 TEXAS INSTRUMENTSIN KEHITYSSARJA

Työ toteutettiin TI:n CC2520DK-kehityssarjaa käyttämällä. Kehityssarjan toiminnasta huolehtii TI:n toisen sukupolven ZigBee / IEEE 802.15.4 CC2520-lähetinvastaanotinpiiri. Kommunikointiin käytetään vapaata 2.4 GHz:n ISM-taajuusaluetta. Kehitysalustan kokonaisuuteen sisältyy: evaluointimoduulit, lisäantennit, liityntälaite, mikrokontrollerimoduulit ja evaluointialustat. Kokonaisuus näkyy kuvassa 5.



Kuva 5. CC2520DK-kehityssarja kokonaisuudessaan /15/

TI:n CC2520DK-kehityssarja sisälsi kaksi evaluointialustaa SmartRF05EB (kuva 6), jotka toimivat ZigBee-verkon koordinaattoreina. Evaluointialustalla on muun muassa LCD-näyttö, USB-liitäntä tietokoneeseen ja ohjauspainikkeet. Evaluointialusta toimii alustana lisämoduuleille ja huolehtii näiden ohjauksesta.



Kuva 6. Evaluointialusta SmartRF05EB /14/

Kehityssarja sisälsi myös kaksi mikrokontrollerimoduulia CCMSP-EM430F2618 (kuva 7), jotka voidaan kytkeä evaluointialustaan.

Mikrokontrollerimoduuli sisältää MSP-430-mikropiirin. Taajuusmuuttajan digitaalituloja ohjataan mikrokontrollerimoduulin ohjelmoitavien nastojen välityksellä.



Kuva 7. Mikrokontrollerimoduuli CCMSP-EM430F2618 /14/



Kehityssarjaan kuului myös kaksi evaluointimoduulia CC2520EM (kuva 8), joissa on CC2520-RF-mikropiiri. Evaluointimoduuli kytketään mikrokontrollerimoduuliin, jonka välityksellä sitä ohjataan.



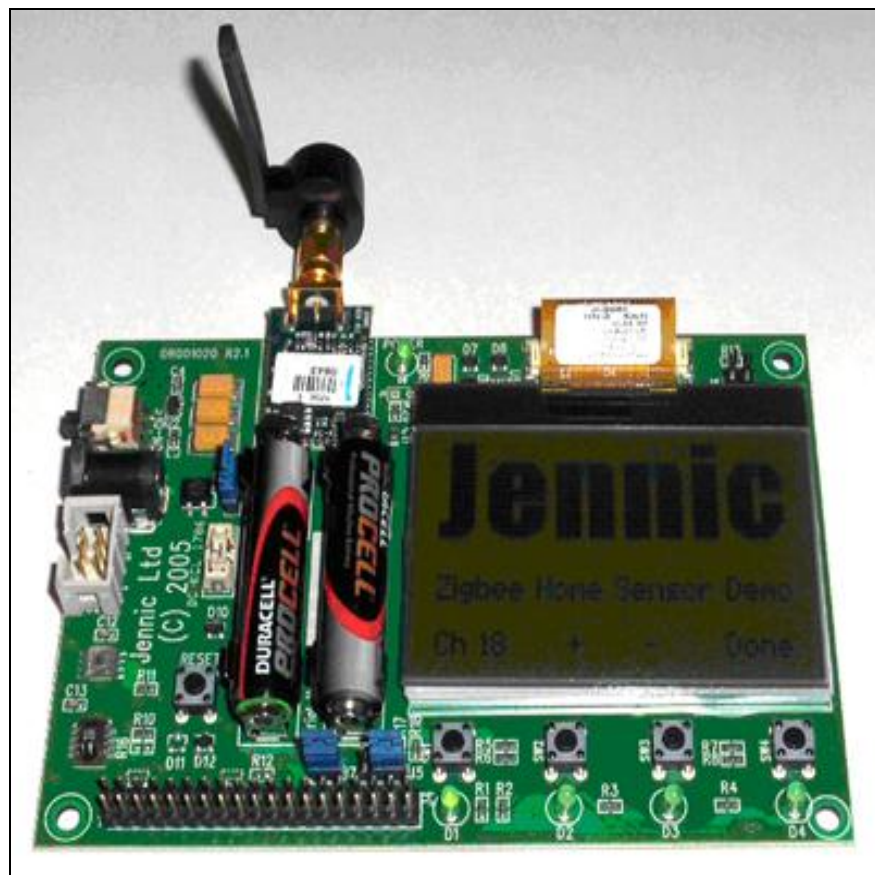
Kuva 8. Evaluointimoduuli CC2520EM /14/

Lisäksi TI:n kehityssarja sisälsi kaksi lisääntennia, jotka oli mahdollista kytkeä evaluointimoduuliin. Toinen tapa toteuttaa evaluointimoduulin ohjaus on käyttää avuksi SmartRF Studio-ohjelmistoa. Kehityssarjan kytkeminen tietokoneeseen tapahtui MSP-FET430UIF-liityntälaitteen avulla. Liityntälaite näkyi kuvassa 5 keskellä yläriiviä.

TI:n koordinaattorikortissa on valmiina sensorit, joilla pystytään tarkkailemaan ilmankosteutta, lämpötilaa tai valaistusta. Lisäksi kehityssarja sisältää tarvittavat ohjelmistot tulosten arviointiin ja testaukseen. Näiden sensoreiden johdosta yksinkertaisen valaistuksen ja lämpötilan valvontaan tarkoitettu järjestelmä oli mahdollista toteuttaa ilman lisäosia. TI:n koordinaattorikortteihin voidaan tarpeen mukaan lisätä myös erilaisia laajennusyksiköitä. TI:n kehityssarjan koordinaattorikortteja pystytään käyttämään sekä lähettiminä että vastaanottiminä. Haluttu toiminto valitaan koordinaattorikortin asetuksista käynnistyksen yhteydessä. TI:n paketissa tulevilla koordinaattorikorteilla ei siis ole mitään fyysistä eroa. Projektityön kannalta TI:n kehityssarjan tärkein ominaisuus on mikrokontrollerimoduulin kuusi ohjelmoitavaa I/O-nastaa.

TI:n käyttämät CC2520-RF-piirit omaavat erittäin pienen virrankulutuksen ja kestävät jopa 125 °C lämpötilaa. Lähetin vastaanotinpiirin vastaanottoherkkyys on parhaimmillaan -99 dBm. Vastaanottoherkkyys kuitenkin huononee huomattavasti lämpötilan kasvaessa yli 30 °C. Lähetin vastaanotinpiirin toimintajännite on 1,8–3,9 V. Vastaanottaessaan lähetyksen TI:n piirin reagointiaika torkkutilasta valmiustilaan on maksimissaan 192 µs. /14/

Toinen yleinen ZigBee-kehityssarja on Jennicin toteuttama. TI:n ja Jennicin kehityssarjoilla pystytään toteuttamaan lähes samat perussovellukset. Kuvassa 9 näkyy vertailun vuoksi Jennicin valmistama koordinaattorikortti.



Kuva 9. Jennicin valmistama koordinaattorikortti.

#### 4 SÄHKÖMOOTTORI JA TAAJUUSMUUTTAJA

Työssä käytetty ABB:n sähkömoottori on Tampereen ammattikorkeakoulun automaatiolinjan omaisuutta. Kyseessä on 4-napainen oikosulkumoottori. Napaluku vaikuttaa moottorin pyörimisnopeuteen.

Sähkömoottorin nimellisarvot: /16/

moottorin tyyppi:	ABB M2VA63B-4
taajuus:	50 Hz
pyörimisnopeus:	1380
virta kolmioon kytkettynä:	1,2 A
virta tähteen kytkettynä:	0,7 A
tehokerroin ( $\cos\phi$ ):	0,64
käyttöjännite:	230 / 400 V
akseliteho / nimellisteho:	0,18 kW



Kuva 10. Käytetty oikosulkumoottori

#### 4.1 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on sähkölaite, joka kytketään kahden erillisen sähköverkon välille. Yleisin käyttökohte on kytkeä taajuusmuuttaja sähkömoottorin tai -generaattorin ja valtakunnallisen sähköverkon väliin. Tällöin taajuusmuuttaja on osa moottori- tai generaattorikäyttöä, missä se vastaa moottorin tai generaattorin ohjauksesta.

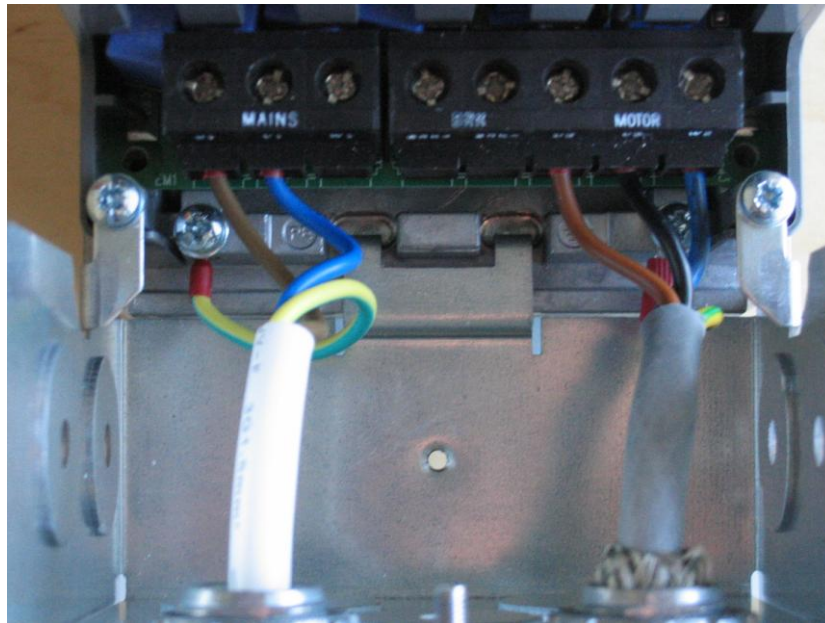
Taajuusmuuttaja saatiin lahjoituksena ABB:lta. Taajuusmuuttajan valintaan vaikutti erityisesti sen laajat ohjaus- ja liitäntämahdollisuudet.



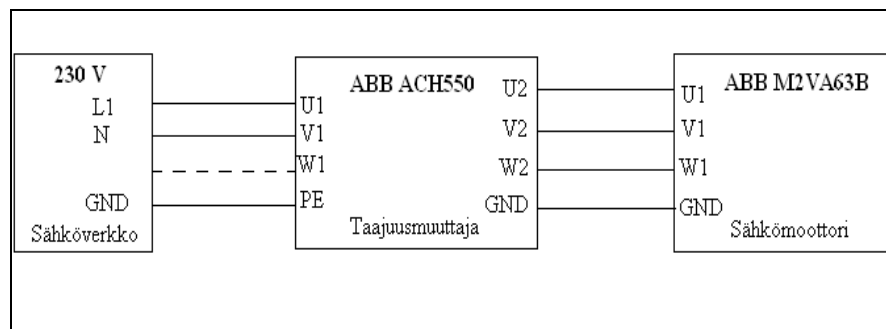
Kuva 11. ABB ACH550-01 taajuusmuuttaja /6/

Työssä käytetty ABB:n taajuusmuuttaja *ACH550-01* tuli kytkeä yksivaiheisesti kolmivaihekytkennän sijaan. Tämä johtui siitä, että kyseinen laite on tarkoitettu Amerikan markkinoille ( $3\sim 110V$ ). Tällöin taajuusmuuttajaan kytkettiin vaihe U1-tuloon ja nolla V1-tuloon. Maadoitus kytkettiin taajuusmuuttajan PE-tuloon. Koska kolmivaiheisesti kytkettäväksi tarkoitettu taajuusmuuttaja kytkettiin yksivaiheisesti, piti taajuusmuuttajan sisäisen EMC-suodin irrottaa, jottei vikavirtasuojalaukeaisi. Tämä tapahtui irrottamalla taajuusmuuttajasta ruuvit EM1 ja EM2. /19/

Kuvassa 12 ja 13 näkyvät sähköverkon ja taajuusmuuttajan väliset kytkennät. Sähköverkosta taajuusmuuttajaan kytketty muovieristeinen liitäntäkaapeli on kuvassa vasemmalla.



Kuva 12. Taajuusmuuttajan kytkennät



Kuva 13. Kytentäkaavio taajuusmuuttajan ja sähkömoottorin väliltä

Taajuusmuuttajalle jännite syötetään yksivaiheisena ja taajuusmuuttajalta sähkömoottorille puolestaan kolmivaiheisena (kolmioon kytkettynä).

#### **4.2 Sähkömoottorin kytkentä taajuusmuuttajaan**

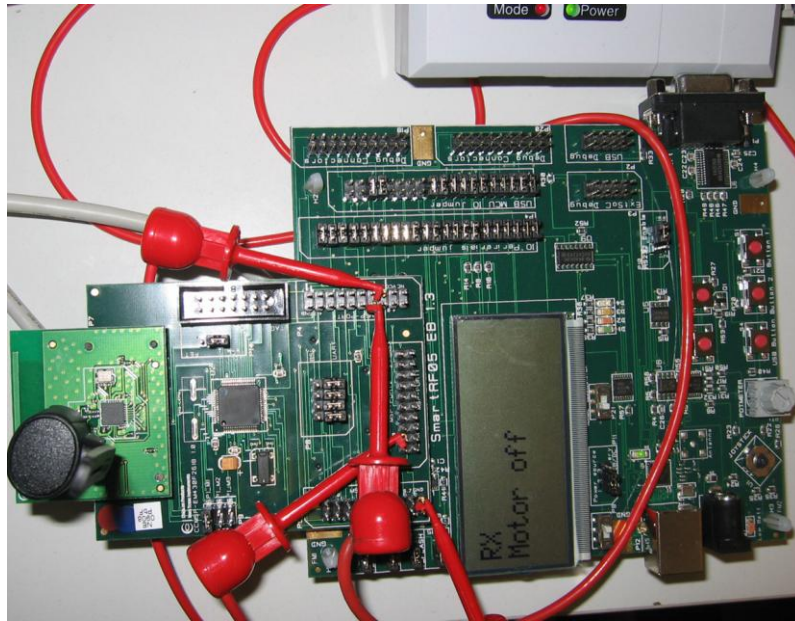
Käytetty taajuusmuuttaja kytkettiin valtakunnallisen sähköverkon ja sähkömoottorin väliin. Taajuusmuuttaja vastaa moottorin ohjauksesta ja mahdollistaa muun muassa halutun pyörimisnopeuden asetuksen taajuutta muuttamalla. Myös moottorin maksimivääntömomentti ja pyörimissuunta on mahdollista määrittää taajuusmuuttajan avulla.

Taajuusmuuttajan käytöllä saavutetaan myös huomattava energiasäästö verrattuna siihen, että moottori olisi kytketty suoraan sähköverkkoon. Energiasäästö perustuu siihen, että sähkömoottoria voidaan pyörittää tarkalleen prosessiin sopivalla nopeudella. Tällöin ylimääräistä energiaa ei kulu ja voidaan saavuttaa jopa 50 % säästöjä.



## 5 OHJAUksen TOTEUTUS

TI:n koordinaattorikortilta pystytään asettamaan riviliittimen tiettyihin nastoihin haluttu tila, jota puolestaan käytetään taajuusmuuttajan digitaalitulojen ohjaukseen. Kuvassa 14 näkyy TI:n koordinaattorikortti testausvaiheessa.

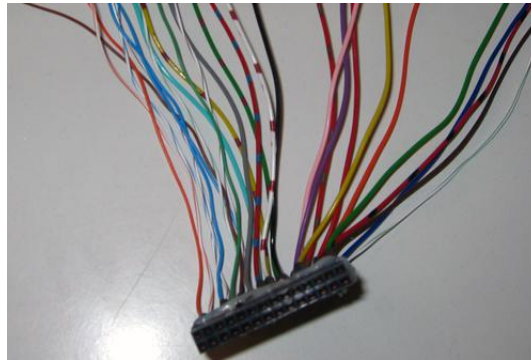


Kuva 14. TI:n kehityssarjan testikytkentöjä

Kortilla on siltakytkin, jonka avulla valitaan haluttu teholähde.

Vaihtoehtoina ovat ulkoinen virtalähde, paristo ja USB.

TI:n koordinaattorikorttiin sopivalla vastakappaleella riviliittimeltä tehtävät mittaukset onnistuivat huomattavasti varmemmin. Kuvan 15 mukainen adapteri tehtiin juottamalla johtimia 28-napaiseen liittimeen.



Kuva 15. Adapteri TI:n koordinaattorikortin liittimiin

## 5.1 Ohjelmointi

TI:n koordinaattorikortin, eli evaluointialustan, ohjelmointi toteutettiin C++-kielellä. TI:n sarjaan sisältyy liityntälaitte, jolla koordinaattorikortin pystyttiin kytkemään tietokoneen USB-väylään. Tätä liityntälaitetta käyttämällä valmis ohjelma pystyttiin lataamaan koordinaattorikortin muistiin.

TI:n lähettimen ja vastaanottimen kommunikointi onnistui hyvin, korttien yksinkertaisen yhteydenpidon johdosta. Kyseinen operaatio olisi ollut huomattavasti monimutkaisempi toteuttaa Jennicin alustalla.

Työhön suunnitellulla ohjelmalla pystytään ohjaamaan TI:n mikrokontrollerikortin haluttujen nastojen tiloja. Ohjaus tapahtuu koordinaattorikortin kautta. Nastan tilaksi voidaan ohjata joko looginen ”0” tai ”1”-tila. Looginen ”1”-tila vastaa noin 2,2 voltin jännitettä, joka syötetään kahdelta AA-paristolta. TI:n mikrokontrollerikortilta kaikkiaan kuuden nastan ohjaus on mahdollista samanaikaisesti.

TI:n lähettimelle ja vastaanottimelle tehtiin erilliset ohjelmat. Lähettimen ohjelman toteutus on melko yksinkertainen ja se vaati vain muutamien metodin käyttöä. Käytännössä se huolehtii viestin lähettämisestä ja sen perillemenosta, sekä informaation annosta LCD-näytöllä.

Vastaanottimen tuli puolestaan huolehtia viestien vastaanoton lisäksi moottorin ohjauksesta piirin I/O-nastojen välityksellä.

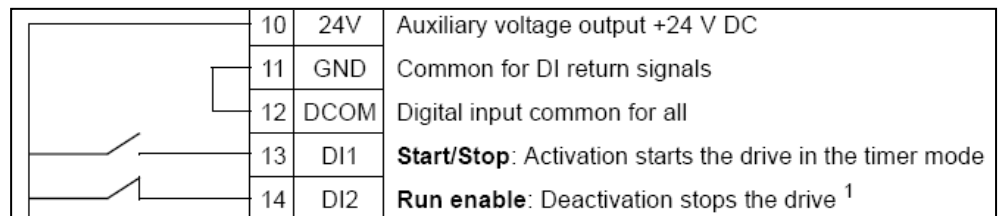
Koordinaattorikortille ohjelmoitiin oma metodi jokaista moottorin tilaa



varten ja asetettiin kyseistä tilaa ohjaava I/O-nasta oikeaan tilaan. Jokainen tila sai siis aikaan metodin mukaisen toimintoketjun, joka jatkui asetettuun pisteeseen asti. Käytännössä ketju koostui vastaanoton varmistuksesta lähetinyksikölle, I/O-nastan tilanmuutoksesta ja informaation muutoksesta LCD-näytöllä.

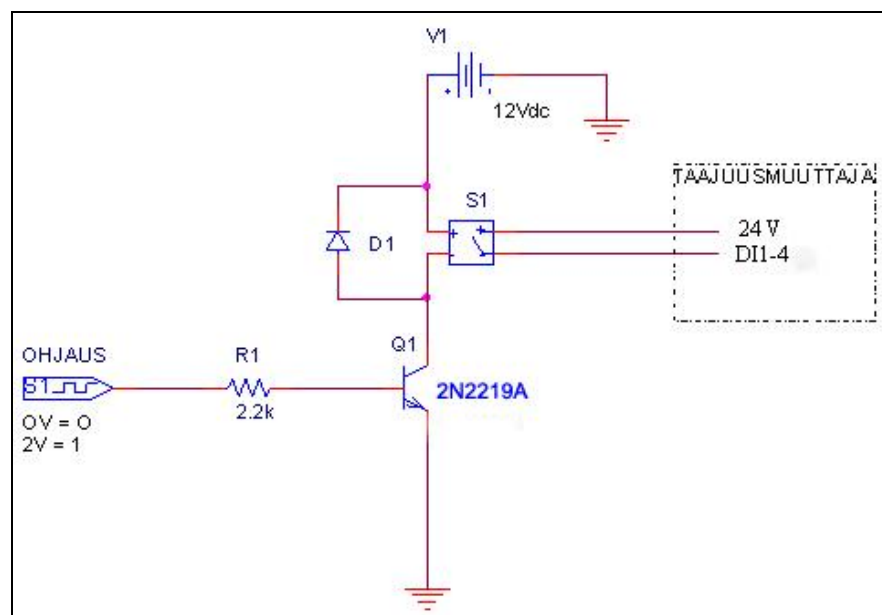
## 5.2 Digitaalitulot

Työvaiheen tarkoituksena oli saada haluttu tilatieto taajuusmuuttajan digitaalituloihin. Kytkentä näkyy yksinkertaistettuna kuvassa 16.



Kuva 16. Taajuusmuuttajan digitaalitulojen kytkennät /8/

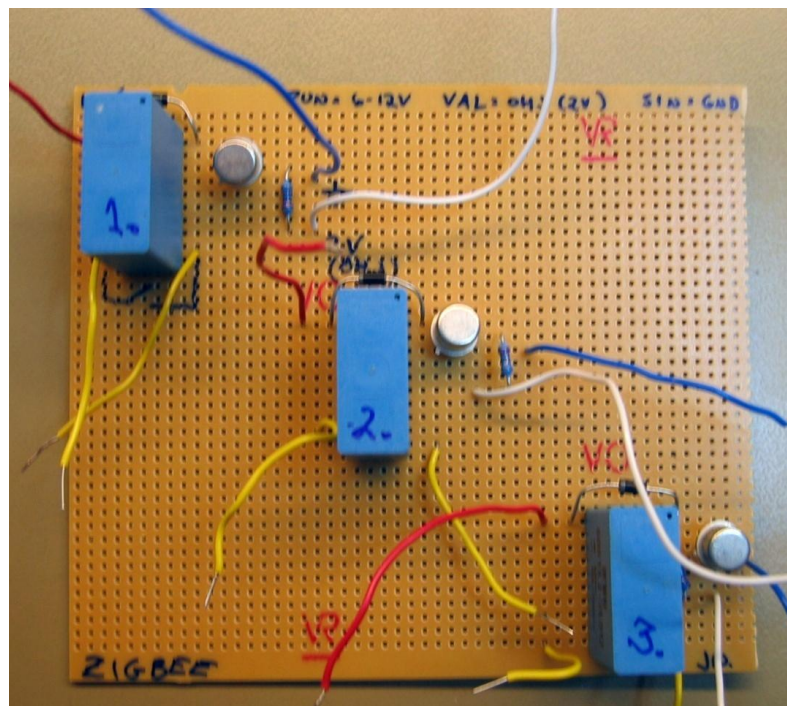
Taajuusmuuttajan digitaalitulojen logiikkatasot ovat 0 V ja 24 V, mutta TI:n mikrocontrollerikortin lähdöt pystyivät syöttämään ulos ainoastaan 2,2 voltin jännitteen. Logiikkatasojen sovitin tehtiin kuvan 17 mukaisella kytkennällä, jossa käytettiin 12 V vetokäämillä varustettua relettä. Käyttöjännite kytkentään syötettiin ulkoisen jännitelähteen kautta.



Kuva 17. Releohjauksen kytkentä

Digitaalitulojen ohjaukseen käytettiin taajuusmuuttajan omaa 24 voltin jännitelähtöä, joka kytkettiin digitaalituloihin relekytkentöjen kautta. Taajuusmuuttajan maa puolestaan kytkettiin suoraan digitaalitulojen maahan (DCOM). TI:n mikrokontrollerimoduulin lähdöillä pystytään nyt ohjaamaan releitä, joiden kautta taajuusmuuttaja sai vaatimansa 24V tilatiedon digitaalituloihin. Kun jännite ohjausportista katkaistaan releen kärjet palaavat lepoasentoon jousivoiman johdosta, jolloin myös moottori pysähtyy (DI1=0). Käytössä ovat mikrokontrollerimoduulin lähtöporttien nastat: MSP\_P2.0, MSP\_P3.1, MSP\_P4.2 ja MSP\_P6.8 maadoituksena. Mikrokontrollerimoduulin kytkentäkaaviot ovat liitteinä 1 ja 2.

Taajuusmuuttajan digitaalitulojen ohjauksen testausta varten rakennettiin transistorikytkentä myös verolevyllä (kuva 18).



Kuva 18. Releohjauksen toteutus verolevyllä

Kuvassa 18 näkyvässä kytkennässä jokaista relettä kohden on johtimet, joihin voidaan kytkeä ohjausjännite mikrokontrollerikortilta (2V), tarvittava jännite relettä varten (12V), lähtö taajuusmuuttajan DI-tulolle (24V) ja yhteinen maadoituspiste.

Taajuusmuuttajan valikoista saatiin asetettua jokaiselle digitaalitulolle haluttu toiminto. Koska testivaiheessa oli käytössä vain kolme TI:n mikrocontrollerikortin ulostuloa, käyttöön valittiin taajuusmuuttajan digitaalitulot 1-3 (DI1-3).

#### **DI1** – Moottorin käynnistys:

Digitaalitulon tilatiedon ollessa 0 V moottori on pysähtynyt, puolestaan 24 V tilatieto käynnistää moottorin. Moottori käynnistyy tällöin taajuusmuuttajaan asetetulla oletustaajuudella (50Hz). Moottori pysähtyy, kun DI1-tuloon ei enää syötetä 24 V tilatietoa.

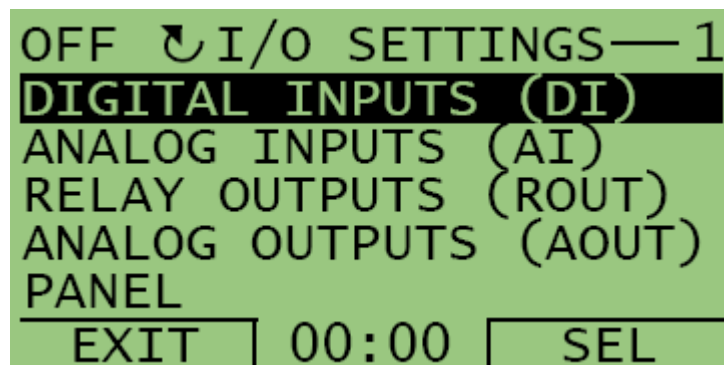
#### **DI2** – Vakionopeus 1:

Jännitteen ollessa 24V moottori käy vakionopeudella 1.

#### **DI3** – Vakionopeus 2.

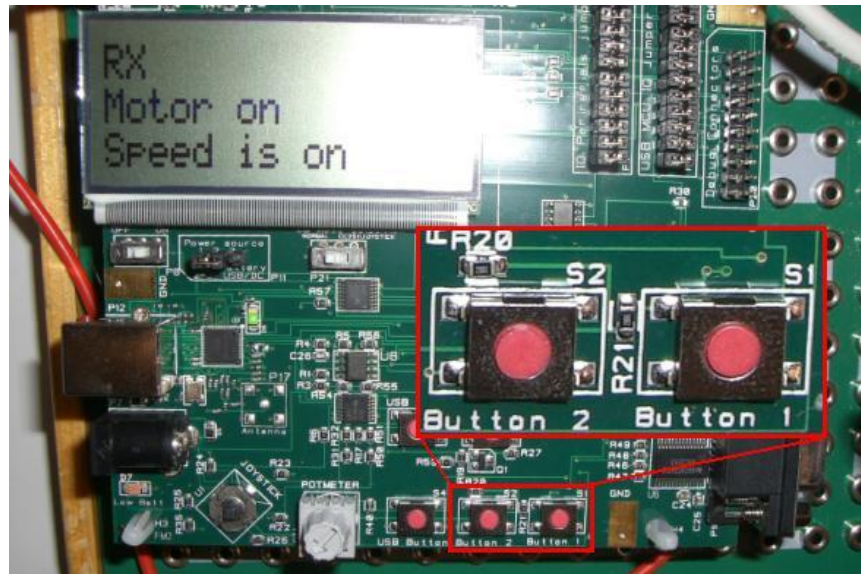
#### **DI4** – Pyörimissuunta (varalla).

Asetukset sijaitsevat taajuusmuuttajan I/O-valikosta (kuva 19).



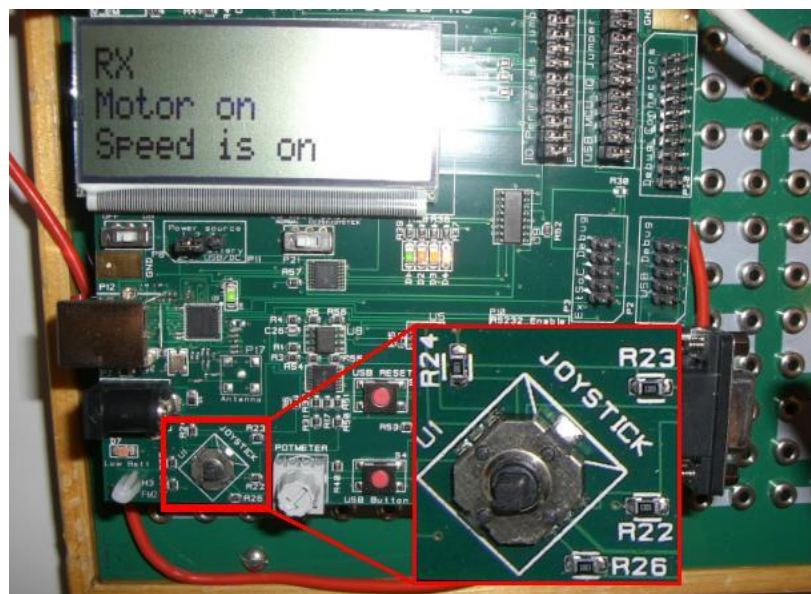
Kuva 19. ABB ACH550-01 taajuusmuuttajan I/O-valikko /8/

DI1-4 valinnat valitaan käyttämällä TI:n koordinaattorikortin painikkeita, esimerkiksi moottorin virrankytkentä tapahtuu kuvan 20 mukaisilla painikkeilla.



Kuva 20. Moottori päälle (button 1)/pois (button 2)

Moottorin pyörimisnopeus on mahdollista asettaa koordinaattorikortilla olevan sauvaohjaimen avulla. Samalla sauvaohjaimella valitaan myös moottorin pyörimissuunta. Sauvaohjain näkyy tarkemmin kuvassa 21.



Kuva 21. TI:n koordinaattorikortin sauvaohjain

Koordinaattorikortin LCD-näyttö kertoo käyttäjälle onko moottori käynnissä ja mikä on valittu nopeus. Lisäksi näytöstä selviää toimiiko koordinaattorikortti vastaanottimena (RX) vai lähettimenä (TX).

### 5.3 RS-485-sarjaväylä

Toinen tapa sähkömoottorin ohjaukseen olisi ollut taajuusmuuttajan RS-485-tietoliikenneportin käyttö. RS-485-portin kautta olisi ollut mahdollista saada selville huomattavasti helpommin esimerkiksi sähkömoottorin kierrosluku, joka olisi ollut muuten hankala selvittää.

RS-485 sarjaväylän käyttö olisi kuitenkin ollut melko työläs toteuttaa ZigBeetä hyödyntämällä. TI:n koordinaattorikortissa olisi RS-232-sarjaportti. Taajuusmuuttajan RS-485-portin käyttöä varten olisi siis vaadittu RS-232/RS-485-muunnin. /10/

## 6 YHTEENVETO

Vaikka kaikkia tavoitteita ei pystyttykään toteuttamaan taajuusmuuttajan digitaalitulojen kautta, oleelliset toiminnot saatiin toteutettua ZigBee-verkon kautta. Sähkömoottorin käynnistys, pyörimisnopeuden vaihto ja suunnanvaihto toimivat hyvin. Koordinaattorikortilla pystyttiin ohjaamaan mikrokontrolleria, joka puolestaan ohjasi relekytkennän välityksellä taajuusmuuttajaa. Mikrokontrollerilta pystyttiin ohjaamaan vain neljän nastan tilaa, se kuitenkin riitti tähän projektiin ja toteutuksen testaukseen. Informaation hakeminen taajuusmuuttajalta ei kuitenkaan onnistunut taajuusmuuttajan digitaalituloja käyttämällä. RS-485-portin kautta olisi todennäköisesti ollut mahdollista hakea tietoa esimerkiksi vääntömomentista ja tuoda se koordinaattorin näytölle. TI:n kehityssarjaa ei saatu toimimaan yhteen Jennic:n kehityssarjan laitteiden kanssa. Tämä johtui siitä, että näiden koordinaattorikorteilla ja sensoreilla oli käytössä ZigBee-standardin eri versiot.

ZigBee-sovelluksilla ja sensoriverkoilla tulee olemaan kysyntää tulevaisuudessa, erityisesti pienen koon, langattomuuden ja vähäisen virrankulutuksen johdosta. Sensoriverkolla toteutettu järjestelmä vaikuttaa järkevältä ratkaisulta niin kotiin, kuin yritykseen. Yrityksien ei tarvitse järjestää kalliita lisäkaapelointeja langattomuuden ansiosta. Kotona puolestaan saadaan tarvittavat komponentit asennettua helposti ja siististi halutuille paikoille. ZigBee-laitteiden puolesta puhuu myös niiden helppo siirrettävyys. Selvänä haittapuolena kuitenkin on paristojen jokavuotinen vaihtaminen päätelaitteisiin. Paristojen vaihtamisesta syntyy huomattava vaiva, kun päätelaitteita ja sensoreita on kymmeniä. Tulevaisuudessa sensoriverkkoon pohjautuvat järjestelmät tulevat epäilemättä yleistymään, mutta tuskin saavuttavat koskaan bluetoothin ja WLAN:n käyttöyleisyyttä.

**LÄHTEET**

1. ZigBee ja IEEE 802.15.4 [viitattu 13.11.2009] Saatavilla:

[http://www2.it.lut.fi/kurssit/04-05/010626000/seminarit/zigbee\\_ja\\_ieee802154\\_jari\\_hassinen\\_seminaari.pdf](http://www2.it.lut.fi/kurssit/04-05/010626000/seminarit/zigbee_ja_ieee802154_jari_hassinen_seminaari.pdf)

2. ZigBee Tutorial [viitattu 14.11.2009] Saatavissa:

<http://www.tutorial-reports.com/wireless/zigbee/tutorial.php>

3. Combustion.eu: DSSS [viitattu 14.11.2009] Saatavissa:

[http://combustion.eu/dsss\\_fi.html](http://combustion.eu/dsss_fi.html)

4. Tietoliikenne-elektroniikan komponentit, ZigBee [viitattu 29.9.2009]

Saatavissa: [http://www.ee.lut.fi/courses/Sa2910400/esitykset\\_2006/esitys\\_2006modattu.pdf](http://www.ee.lut.fi/courses/Sa2910400/esitykset_2006/esitys_2006modattu.pdf)

5. ZigBee:n käyttösovellukset [viitattu 20.6.2009] Saatavilla:

<http://gotomy.wordpress.com/2008/12/17/the-smart-home-will-be-flat/>

6. CC2520DK Quickstart Guide [viitattu 29.9.2009] Saatavissa:

<http://focus.tij.co.jp/jp/lit/ug/swru139/swru139.pdf>

7. Jennic ZigBee Stack User Guide [viitattu 30.9.2009] Saatavissa:

[http://www.jennic.com/files/support\\_files/JN-UG-3017-ZigBeeStackUserGuide-1v6.pdf](http://www.jennic.com/files/support_files/JN-UG-3017-ZigBeeStackUserGuide-1v6.pdf)

8. User's Manual ACH550-01 Drive [viitattu 30.9.2009] Saatavilla:

[http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/7ccd70ad6b24df53c1257607003d1969/\\$File/EN\\_ACH550\\_01\\_UM\\_F\\_A4\\_LoScreen\\_Res.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/7ccd70ad6b24df53c1257607003d1969/$File/EN_ACH550_01_UM_F_A4_LoScreen_Res.pdf)

9. ABB:n taajuusmuuttaja [viitattu 29.9.2009] Saatavilla:

[http://www.inverterdrive.com/prodimage/600\\_ABB-ACH550-15kW-01.jpg](http://www.inverterdrive.com/prodimage/600_ABB-ACH550-15kW-01.jpg)

10. RS-485 [viitattu 14.11.2009] Saatavissa:

<http://www.pori.tut.fi/~tiru/rs.htm>



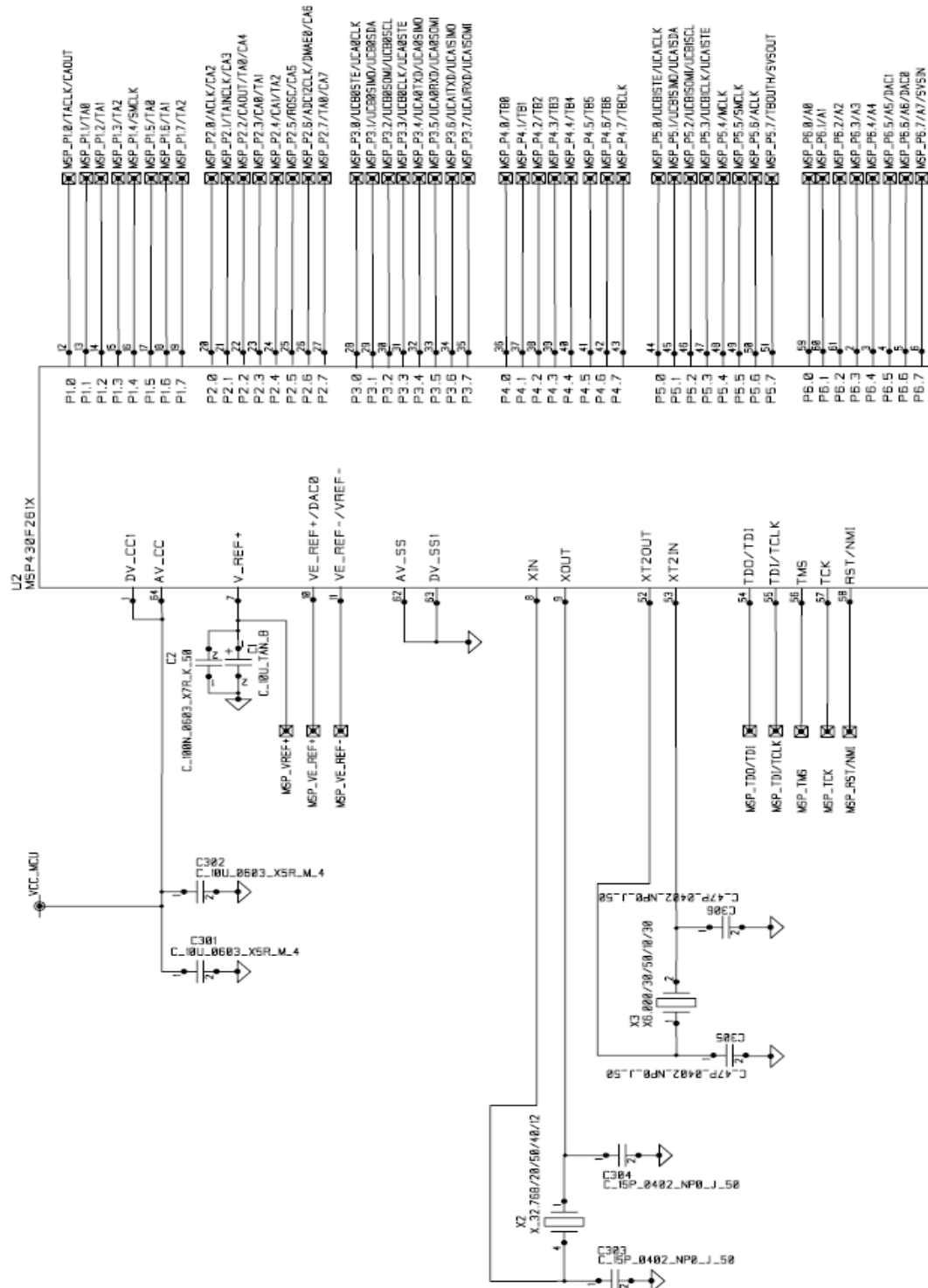
11. ZigBee ja BT1.2 [viitattu 1.10.2009] Saatavilla:  
[http://ae.tut.fi/research/AIN/Publications/ZigBee\\_BT1.2\\_Silvola.pdf](http://ae.tut.fi/research/AIN/Publications/ZigBee_BT1.2_Silvola.pdf)
12. AES-algoritmi [viitattu 1.10.2009] Saatavilla:  
<http://www.it.lut.fi/kurssit/03-04/010628000/Seminars/AES.pdf>
13. Wireless Mesh [viitattu 1.10.2009] Saatavilla:  
[http://fi.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_mesh](http://fi.wikipedia.org/wiki/Wireless_mesh)
14. CC2520 Datasheet [viitattu 25.11.2009] Saatavilla:  
<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2520.pdf>
15. CC2520 Development Kit [viitattu 14.11.2009] Saatavilla:  
<http://focus.ti.com/lit/ug/swru138/swru138.pdf>
16. ABB: M2VA63B-4 [viitattu 15.11.2009] Saatavilla:  
[http://library.abb.com/global/scot/scot259.nsf/veritydisplay/918ca4c16219968ec1256bab0070eb53/\\$File/M2VA63B4.doc](http://library.abb.com/global/scot/scot259.nsf/veritydisplay/918ca4c16219968ec1256bab0070eb53/$File/M2VA63B4.doc)
17. ZigBee ja Bluetooth [viitattu 25.11.2009] Saatavilla:  
[http://ae.tut.fi/research/AIN/Publications/ZigBee\\_BT1.2\\_Silvola.pdf](http://ae.tut.fi/research/AIN/Publications/ZigBee_BT1.2_Silvola.pdf)
18. Tekniikan Kaavasto, Tammertekniikka, 5. uudistettu painos (sivu 128)
19. ACS550 pikaopas [viitattu 30.11.2009] Saatavilla:  
[http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/7aedb52648cd25cec12573150034c8fd/\\$File/FI\\_ACS550\\_01\\_IP54\\_QG\\_D.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/7aedb52648cd25cec12573150034c8fd/$File/FI_ACS550_01_IP54_QG_D.pdf)



## LIITTEET

## LIITE 1

## Mikrokontrollerimoduulin CCMSP-EM430F2618 kytkentäkaavio 1/2



## LIITE 2

## Mikrokontrollerimoduulin CCMSP-EM430F2618 kytkentäkaavio 2/2

